DEFINIÇÃO DA EROSIVIDADE DA CHUVA EM SANTA MARIA/RS – DETERMINAÇÃO E REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DAS OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES, ALAGAMENTOS E DESLIZAMENTOS

Elisângela Rosemeri Curti MARTINS[1]
Mauro Kumpfer WERLANG[2]

RESUMO

Santa Maria possui várias áreas onde ocorrem problemas de conflitos de uso da terra e infra-estrutura. Alguns deles propiciam a ocorrência de eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos. O objetivo do trabalho foi, através da determinação da erosividade da chuva e da correlação dessa com o registro das ocorrências desses eventos na cidade de Santa Maria, determinar um índice crítico para o desencadeamento desses eventos. Também foi objetivo do trabalho a espacialização dessas ocorrências através de um mapa expressando as áreas com maior ocorrências desses eventos. O resultado obtido revelou que a maior concentração dessas ocorrências encontra-se na parte central da cidade. Conclui-se, portanto, que a ocorrência desses eventos estão fortemente relacionados a problemas de infra-estrutura.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, historicamente, é resultante da divisão social do trabalho a partir do momento em que o excedente agrícola acumulado fez com que uma parcela da população, pudesse deixar a obtenção direta dos meios de subsistência, e buscar outras atividades tais como: política, trocas de produtos e/ou comércio (Costa *apud* Zillmer,1991).
Ao longo das últimas décadas, o Brasil apresentou um crescimento significativo da população urbana, evidenciado pelo êxodo rural, modernização da agricultura, atração às cidades em busca de melhores condições de vida e trabalho na indústria e no comércio.
O efeito do processo de ocupação acelerado sobre a área urbana se faz sentir, principalmente em relação aos recursos hídricos, no abastecimento de água, tratamento de esgotos cloacais e drenagem pluvial. Tucci (1995), ressalta que quando da constatação desse processo, e suas conseqüências, se faz necessário planejar esse espaço urbano com infra-estrutura adequada e condições que possibilitem a mitigação dos impactos econômico-sociais negativos.

Entretanto, as conseqüências da falta de preocupação com o planejar, são sentidas em quase todas as cidades de médio e grande porte do Brasil. Na cidade de Santa Maria, no centro do Estado do Rio Grande do Sul, essa realidade não é diferente, pois junto à urbanização não planejada, seguem-se os problemas ambientais e de infra-estrutura. Resulta disso um dos problemas urbanos freqüentes: o desencadeamento de eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos.

O objetivo do trabalho propõem determinar o índice crítico de EI_{30} (erosividade da chuva), para as ocorrências de inundações, alagamentos, deslizamentos na cidade de Santa Maria no período de 1980 a 2002, correlacionando o índice crítico de erosividade da chuva (EI_{30})

[1] Mestranda da Universidade de São Paulo/ USP/ FFLCH/ Departamento de Geografia
[2] Prof. Doutor da Universidade Federal de Santa Maria/ UFSM/ CCNE/ Departamento de Geografia

e ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos, seguindo seus respectivos endereços, espacializando os dados em zonas de freqüência.

Também objetiva representar cartograficamente a freqüência de ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos, identificando as áreas (bairros) com maior índice de ocorrência desses eventos na cidade de Santa Maria.

Localização e Caracterização Geral da Área

A cidade de Santa Maria, situada no centro do estado do Rio Grande do Sul, está inserida na região denominada Depressão Central entre as coordenadas geográficas 53°45'00'' e 53º52'30'', de longitude oeste e 29º40'00'' e 29º45'00'' de latitude sul. Apresenta relevo com topografia suave, com baixas cotas altimétricas, onde se destacam planícies aluviais e terraços fluviais. Entretanto, no setor norte junto ao Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, aparecem cotas altimétricas mais elevadas, conseqüentemente, áreas caracteristicamente mais íngremes. Nas áreas em que o relevo se apresenta plano, ocorrem topos modelados em rochas mais resistentes, que funcionam como camada mantenedora. Além destes, aparecem, em alguns pontos, relevos residuais.

No que se refere à vegetação, originalmente, corresponde aos Campos, Floresta Estacional Decidual e áreas de Tensão Ecológicas. Em relação aos cursos d'água, os mais importantes são o arroio Cadena, arroio Arenal e o rio Vacacaí-Mirim.

Em relação à geologia, o sítio urbano de Santa Maria, abrange uma zona de rochas sedimentares e outra com rochas vulcânicas. A área sedimentar está compreendida pela Formação Caturrita e pela Formação Santa Maria. Ao norte ocorrem rochas da Formação Botucatu intercaladas com rochas vulcânicas da Formação Serra Geral junto ao Rebordo do Planalto.

O clima, com base na classificação de Köppen, enquadra-se como sendo Mesotérmico Brando Cfa. As precipitações são regulares durante todo o ano, não apresentando estação seca.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Na coleta dos dados, para a determinação da erosividade da chuva, utilizou-se os gráficos de registro diário relativo aos eventos de precipitações considerando-se as chuvas individuais no período de 1980 e 2002, junto ao Setor de Metereologia do 8º Distrito, sediado no Departamento da Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria. A erosividade da chuva foi determinada a partir da proposta metodológica de Wischmeier & Smith (1956). A erosividade da chuva é expressa através do índice EI_{30} que resulta da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima em mm/h numa duração de 30 minutos. O fator "R" está expresso em Mj/ha.mm./h.

Posteriormente, fez-se a tabulação dos dados com o auxílio da planilha Excel. Determinou-se o índice EI_{30} mensal e anual, determinando o fator "R" através das médias da série trabalhada.

Para a coleta dos dados referentes às ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos, utilizou-se das Fichas de Ocorrências de Bombeiros (FOBs), junto à Brigada Militar, 4º CRB – Comando Regional de Bombeiro, no 1º SGCI - Sub-grupamento de Combate a Incêndio.

Estas trazem o código da natureza da ocorrência, data, endereço e relatório da provável causa. Foram consideradas ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos aquelas que, pelo relatório, constatou-se que as condições de tempo eram instáveis ou que havia mais de uma ocorrência registrada no mesmo dia.

Na correlação entre os dados de erosividade da chuva e os eventos registrados, considerou-se a chuva acumulada e respectivo EI_{30} relativo a quatro dias antecedentes ao evento. A definição de chuva acumulada esteve apoiada em Tatizana *et al* (1987), que definiu este número de dias de chuva antecedentes quando analisou ocorrências de escorregamentos na Serra do Mar em Cubatão – SP. A relação fez-se considerando o número de ocorrências e o índice $EI_{30,}$ ajustando-se uma equação.

Para a confecção do mapa verificou-se o número de ocorrências por bairro determinando a freqüência dessas ocorrências conforme sua área. Dividiu-se o número de ocorrências pela área de cada bairro definindo-se um Índice de Concentração de Ocorrências (ICO). Após, determinou-se o número de classe, conforme a metodologia de Sturges (Gerardi & Silva, 1981), e fez-se a determinação do intervalo de classe seguindo uma legenda de cores representando o maior ou menor índice de ocorrência. A legenda de cores adotada baseou-se na concepção proposta por Martinelli (1991)

RESULTADOS

A determinação da erosividade da chuva, cujos resultados constam no Quadro 1, traz as médias do índice EI_{30} e o fator "R" para a cidade de Santa Maria. Esses valores correspondem a erosividade da chuva, determinada conforme as características locais de precipitações, ou seja, mostra a capacidade erosiva dos eventos de precipitações em Santa Maria.

Verificou-se que os meses de dezembro, janeiro, março e fevereiro, respectivamente são os meses em que a erosividade da chuva apresenta-se maior. No verão, os eventos de precipitações individuais, são mais torrenciais, conseqüentemente as chuvas são mais erosivas, uma vez que representam precipitações num intervalo de tempo menor, comparativamente aos eventos de precipitações individuais do inverno.

O número de dias com chuva e registros de ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos foi de 156 dias durante o período da pesquisa. Com base nesses dados cruzou-se, em um gráfico de dispersão, a erosividade da chuva e ocorrências. Buscou-se obter a equação de regressão e respectivo coeficiente de determinação (r^2) a partir do ajuste da equação da reta. A Figura 1 mostra que na medida que aumenta a precipitação aumenta a erosividade da chuva, e ambos aumentam o risco de ocorrências dos eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos. A partir de determinados valores (valores elevados) para o EI_{30}, não mais se estabelece correlação. Tem-se uma tendência definida até os valores próximos aos 829,42 Mj.ha/mm.h, segundo a equação de ajuste Y = 0,0777x + 27,441, com um coeficiente de determinação r^2 = 0.9511.

Quadro 1: Médias mensais do EI_{30} dos eventos de precipitação em Santa Maria, e a erosividade da chuva do período de 1980-2002 em Mj.ha/mm.h.

Ano	1980	1981	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Jan	568,93	806,1	116,5	330	726	92,57	93,62	119	58,42	150	67,24	212,6

Fev	130,5	69,4	135,6	409,7	205	77	431,04	119	-	315,9	-	214,2
Mar	190,22	33,08	157,8	193,9	287,2	100,5	213,29	135,9	364,5	178,2	231,4	143,1
Abr	29,03	45,87	147,9	424,5	198,6	89,26	40,69	376,1	380,9	220,7	789,6	393
Mai	38,26	35,17	135,8	518,9	159,2	652,8	188,35	17,56	58,31	49,99	73,22	63,09
Jun	38,98	181,5	24,07	160,9	197,9	75,91	137,48	346,6	20,71	20,9	52,19	106,1
Jul	107,77	41,14	-	212,5	206,5	119,3	186,25	-	40,84	259	63,8	32,76
Ago	11,53	-	67,59	101,1	44,45	208,7	210,6	-	133,6	7,56	11,92	242,5
Set	100,01	82,52	-	107,8	100,9	208,7	84,84	311	149,6	112,8	151,8	75,99
Out	107,31	161,3	123,7	56,19	92,45	40,6	291,15	292,5	177,2	116,4	78,34	90,27
Nov	19,52	166,5	-	155,5	43,46	143,4	258,04	399,6	218	235,3	32,31	101,2
Dez	235,62	478	-	65,64	-	211	734,23	186	183,9	112,3	350,1	209
Ano	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**MÉDIA**	
Jan	128,8	270,6	63,57	511,8	149,6	254	352,1	415	355,6	136,2	271,74	
Fev	248	411,8	70,02	250,5	178,6	239,1	193,3	48	223,3	384,3	229,17	
Mar	190,4	79,06	328,4	319,7	-	126,9	239,8	228,8	439,5	260,8	233,80	
Abr	212,1	241	78,43	159,5	104,1	275,8	127,2	32,4	182,7	345,1	222,48	
Mai	258,7	873,9	68,57	-	373,6	53,8	252,7	124,7	129,4	300,8	221,34	
Jun	81,83	152,9	84,85	162,3	199,4	41,3	167,9	250,6	120	302	133,02	
Jul	208,7	389,6	64,63	41,9	129,2	129	51,4	89,6	278,8	72,2	143,42	
Ago	-	212,7	116	72,3	181,5	290,4	22	113,4	109,2	198	130,83	
Set	195,2	160,5	-	45,1	34,6	295,6	117	287,1	150,6	353,5	164,48	
Out	173,5	316,3	47,74	95,5	220,3	47,8	160,6	143,6	79,1	152,7	139,30	
Nov	280,1	362,6	-	28,4	157,3	72,3	90,1	131,7	125,4	-	167,81	
Dez	246,6	378,9	59,49	344,1	312,2	152,4	542,2	452,9	67,7	-	295,68	
Média	202,2	320,8	98,16	184,6	185,5	164,8	193	193,1	188,4	250,5		
									Fator	"R"	2.353,07	

*1982 – Dados não disponíveis

Fonte: Martins, E. R. C. (2003)

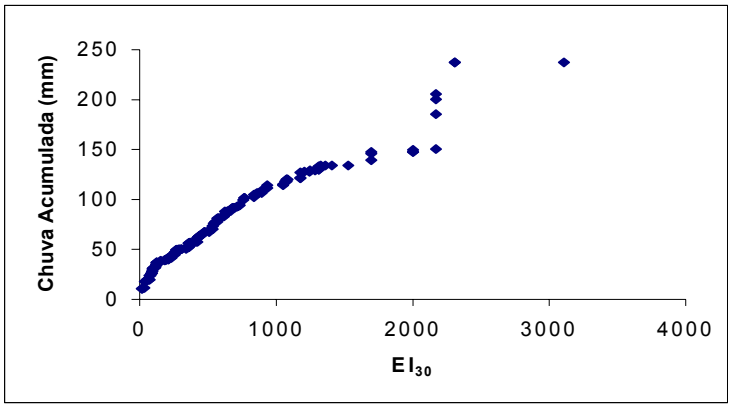


Figura 1: Gráfico de dispersão obtido plotando-se chuva acumulada e o EI_{30} correspondente aos eventos registrados.

A determinação do valor crítico deu-se através da média menos uma vez o desvio padrão das chuvas e do índice EI_{30} (Tabela 1). Chuvas acumuladas com EI_{30} igual ou superior a 48, 55 Mj.ha/mm.h e 31,21 mm em eventos de precipitação acumulado durante quatro dias, tendem, conforme a equação definida para o índice EI_{30}, desencadear eventos como deslizamentos, alagamentos e inundações em Santa Maria.

Tabela 1: Média e desvio padrão da chuva acumulada e do índice EI_{30} para a área urbana de Santa Maria.

Chuva Acumulada		**EI_{30}**	
Média	77,21	Média	640,83

Desvio Padrão (S)	47,16	Desvio Padrão (S)	592,28
Média + 1S	124,37	Média + 1 S	1233,11
Média – 1S	30,05	Média – 1 S	48,55
Média + 2 S	171,53	Média + 2 S	1825,39
Média – 2 S	17,11	Média – 2 S	543,73

Fonte: Martins, E. R. C. (2003)

Dos dados obtidos no Batalhão do Corpo de Bombeiros, 1º SGCI, foram registrados vinte e uma ocorrências com valores de precipitação acumulada durante quatro dias, inferiores aos definidos como sendo o valor crítico. Para tanto, determinou-se a probabilidade de ocorrência desses eventos dentro do período de um ano. Obteve-se uma probabilidade baixa (5%).

No levantamento de todas as ocorrências registradas de inundações, alagamentos e deslizamentos, chegou-se a um total de 287 ocorrências no período de 1983 a 2002. Dessas obteve-se o ICO expresso na Tabela 2.

O mapa do Índice de Concentração de Ocorrências (ICO) desses eventos por bairro expressa em diferentes classes, segundo sua maior ou menor freqüência, conforme uma legenda de cores, quais são os bairros potencialmente mais problemáticos (Quadro 3 e Figura 2).

Analisando o mapa (Figura 2) que representa o Índice de Concentração de Ocorrências (ICO) de inundações, alagamentos e deslizamentos na área urbana de Santa Maria, tem-se como a área de maior concentração os Bairros Centro e Nossa Senhora do Rosário. Na classe de concentração moderada, o Bairro Salgado Filho. As demais classes representam menor freqüência no registro do fenômeno, mas não menos importante ao analisarmos a organização do espaço urbano de Santa Maria.

Tabela 2: Relação do número e índice de concentração de ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos por bairro, na cidade de Santa Maria.

Bairro	Nº de ocorrências	ICO
Centro	72	15,463
Nossa Senhora de Lourdes	23	5,357
Salgado Filho	19	5,980
Patronato	19	4,376
Camobi	16	0,946
Presidente João Goulart	15	5,462
Urlândia	13	2,713
Nossa Senhora Medianeira	13	3,354
Passo D'Areia	12	3,432
Itararé	12	1,915
Nossa Senhora do Perpétuo Socorro	10	1,871
Nossa Senhora do Rosário	10	9,015
Km 3	10	2,985
Tomazzeti	9	1,835
Parque Pinheiro Machado	8	1,167
Juscelino Kubitschek	7	2,175
Cohab Passo da Ferreira	5	2,135
Nossa Senhora das Dores	5	4,003
Chácara das Flores	5	1,727
Caturrita	2	0,625
São José	1	0,280
Pé de Plátano	1	0,196
Cerrito	0	0,000
Total	287	-

Organização: Martins, E. R. C. (2004)

Quadro 2: Legenda de Cores e Concentração de Ocorrências por bairro de inundações, alagamentos e deslizamentos na cidade de Santa Maria.

Cores	Intensidade do fenômeno	Bairros

Amarelo claro	Inexistência de Ocorrências	Cerrito
Amarelo	Concentração Fraca	Cohab Passo da Ferreira, Juscelino Kubitschek, Caturrita, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, São José, Pé de Plátano, Chácara das Flores, Tomazzeti, Urlândia, Camobi e Itararé, Parque Pinheiro Machado.
Mostarda	Concentração Média	Passo D'Areia, Patronato, Nossa Senhora das Dores, Presidente João Goulart, Nossa Senhora Medianeira e Nossa Senhora de Lourdes, KM 3.
Laranja	Concentração Moderada	Salgado Filho
Vermelho	Concentração Forte	Nossa Senhora do Rosário e Centro

Organização: Martins, E. R. C. (2004)

Essa realidade nos leva inferir que o resultado obtido está fortemente relacionado a problemas de infra-estrutura. Entretanto, mesmo que os maiores Índices de concentração de Ocorrências (ICO) não correspondem à área periférica da cidade, cabe ressaltar que, geralmente, quando na ocorrência desse tipo de eventos, são estas as áreas em que o impacto é maior dado às condições sociais e econômicas da população ali residente. Portanto, geralmente são essas as áreas mais questionadas, principalmente pela mídia em geral.

A cidade de Santa Maria pela morfologia do terreno, que constitui seu sítio urbano, propicia o desencadeamento de ocorrências dessa natureza. Isso foi facilmente constatado em trabalho de campo, onde verificou-se que em locais referentes às ruas situadas em terrenos baixos, foram identificadas um maior número de ocorrências.

O efeito da impermeabilização do solo urbano em Santa Maria vem favorecer cada vez mais fenômenos dessa natureza, face de a cidade carecer muito de áreas verdes e espaços livres permeáveis. Outros problemas também se associam a isso, como o entupimento da rede de esgoto em função do acúmulo de lixo e folhas de árvores. Reforçando o que expressa o mapa (Figura 2), os relatórios das FOBs, reportam a questão ligadas a problemas de infra-estrutura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através da determinação da erosividade da chuva e correlação com os eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos, mostram que há uma correlação positiva, ou seja, quanto maior a intensidade da chuva num intervalo de 30 minutos, maior é a presença de ocorrências desses eventos.

Constatou-se que os maiores para o EI_{30} ocorrem nos meses de dezembro, janeiro, março e fevereiro respectivamente. Isso evidencia que as precipitações nesses meses, dadas as condições de tempo locais, apresentam-se mais erosivas.

Conforme a equação ajustada, precipitações com erosividade da chuva acima EI_{30} 48,55 Mj.ha/mm.h e 31,21 mm de chuva acumulada, tidos como índice crítico, são susceptíveis de desencadear eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos.

Entretanto, tem-se a probabilidade de ocorrências dentro de um ano de pelo menos 5% desses eventos ocorrem com precipitação inferior a esse índice crítico.

No relatório que compõe as FOBs, durante a coleta dos dados, constatou-se que existe problemas relacionado à infra-estrutura urbana, como o não suprimento da vazão pluvial quando da ocorrência de chuvas mais torrenciais. Aliado a esse tem-se outro problema, que é o acumulo de lixo junto a rede de drenagem pluvial.

Essa problemática em relação à infra-estrutura pode ser observada ao analisar o mapa (Figura 2) que expressa as áreas com maior Índice de Concentração de Ocorrência (ICO). Esse retrata a realidade urbana de Santa Maria frente aos problemas de inundações, alagamentos e deslizamentos, onde o maior índice encontra-se nos Bairros Centro e Nossa Senhora do Rosário. Representado pela classe de concentração moderada, está o Bairro Salgado Filho. As classes que representam a concentração média e fraca se encontram nos demais bairros periféricos da cidade. Cabe destacar, entretanto, que são nessas áreas quando da ocorrência de eventos dessa natureza, que os reflexos sociais e econômicos são mais expressivos, principalmente pelas condições sócio-econômicas da população. Conseqüentemente, são essas áreas, mais pobres, que são tidas, muitas vezes, como referência dos processos danosos desse tipo de evento.

Verificou-se que, para esse trabalho, o método adotado se fez eficiente capaz de expressar os dados coletados e trabalhados. Conclui-se dessa forma, a importância da cartografia como um instrumento na análise do espaço urbano e, portanto, no planejamento deste.

Acredita-se que esse trabalho poderá se constituir em uma referência a ser considerada em projetos e tomadas de decisões, quando se tratar do planejamento urbano de Santa Maria, visto que o mesmo traz as áreas mais susceptíveis de ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** São Paulo: Difel, 1986, 332p.

BERGER, M. G. **Inundações/Alagamentos na Área Urbana de Santa Maria Associado à Ação Antrópica e a Distribuição das Chuvas entre 1980 e 1995.** 1999, 82p. Trabalho de Graduação (Curso de Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

CERRI, L. E. S. Riscos Geológicos Urbanos. In: Chassot, A. & Campos, H. (orgs). **Ciências da Terra e o Meio Ambiente.** São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999. p.133–150.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo, 2º ed., Edgard Blücher, 1980. 188p.

GERARDI, L. H. O. & SILVA, B. C. M. N. **Quantificação em Geografia.** São Paulo: Difel. 1981. 161p.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria.** Santa Maria, Imprensa Universitária, 1990. 22p

MARTINELLI, M. **Curso de Cartografia Temática.** São Paulo: Contexto, 1991. 180p.

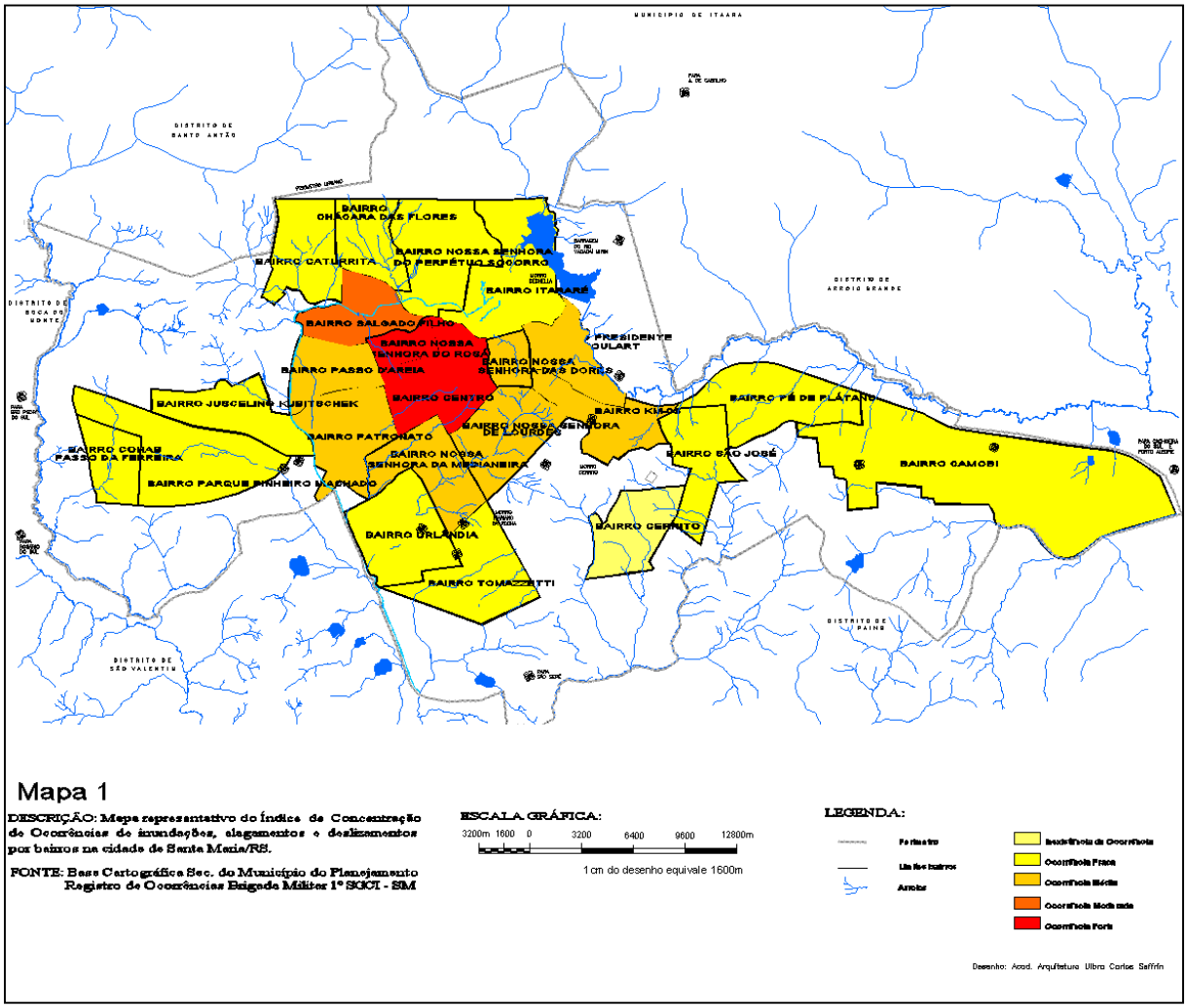
MARTINS, E. R. C. **Determinação da erosividade da chuva – correlação com eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos na cidade de Santa Maria/RS.** 2003, 67p. Trabalho de Graduação (Curso de Geografia) na Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

MITCHELL, J. K. Estimación de la Perdida del Suelo. In: Kirkby, M. J. & Morgan, R. P. C. (orgs). **Erosión de Suelos.** México: Limusa Noriega Editores, 1994. p. 35-88.

MOJICA, F. J. **La Ecuacion Universal de Erosion. Revista Geografia de América Central.** Escuela de Geografia (Faculdade de Ciencias de la Turma Yelmar) Universidad Nacional Heredia. Costa Rica. Pesquisa em Geografia, p. 35-45, 1978.

PENTEADO, M. **Fundamentos de Geomorfologia.** 2º ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 154p.

TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S. & ROCHA, M. C. M. **Análise de Correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão.** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE. 1987. v. 2. p.225-236. Anais.

ZILLMER, R. J. **A pequena produção da Horti-fruticultura na periferia urbana de Santa Maria - RS.** 1991. 155p. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991

ANEXO